

27. 1. 2004

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

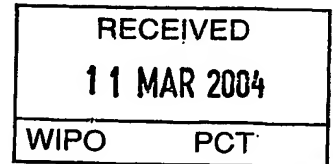
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2003年 1月27日

出願番号
Application Number: 特願2003-016987
[ST. 10/C]: [JP2003-016987]

出願人
Applicant(s): 株式会社荏原製作所
株式会社東芝

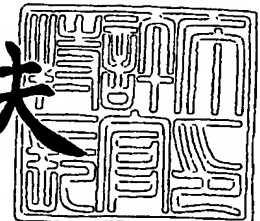


PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 2月26日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2004-3013683

【書類名】 特許願

【整理番号】 021477

【提出日】 平成15年 1月27日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G01N 23/22

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社荏原製作所
内

【氏名】 渡辺 賢治

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社荏原製作所
内

【氏名】 村上 武司

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社荏原製作所
内

【氏名】 畠山 雅規

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社荏原製作所
内

【氏名】 佐竹 徹

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社荏原製作所
内

【氏名】 野路 伸治

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝
横浜事業所内

【氏名】 山崎 裕一郎

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝
横浜事業所内

【氏名】 長濱 一郎太

【特許出願人】

【識別番号】 000000239

【氏名又は名称】 株式会社荏原製作所

【特許出願人】

【識別番号】 000003078

【氏名又は名称】 株式会社東芝

【代理人】

【識別番号】 100089705

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 2 番 1 号 新大手町ビル 2
06 区 ユアサハラ法律特許事務所

【弁理士】

【氏名又は名称】 社本 一夫

【電話番号】 03-3270-6641

【選任した代理人】

【識別番号】 100091063

【弁理士】

【氏名又は名称】 田中 英夫

【選任した代理人】

【識別番号】 100096068

【弁理士】

【氏名又は名称】 大塚 住江

【選任した代理人】

【識別番号】 100107696

【弁理士】

【氏名又は名称】 西山 文俊

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 051806

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0201070

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 反射電子を用いた写像投影型電子ビーム装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 一次電子ビームを試料に照射し、該試料から放出される反射電子を検出器に結像して前記試料の表面を観察又は評価するための写像投影型の電子ビーム装置であって、

前記反射電子を検出するための前記検出器として電子衝撃型 CCD 及び電子衝撃型 TDI 等の電子衝撃型検出器を具備し、前記試料から放出された前記反射電子と二次電子とのエネルギー差から、選択的に前記反射電子を検出することを特徴とする電子ビーム装置。

【請求項 2】 請求項 1 記載の電子ビーム装置であって、

前記電子衝撃型検出器の出力を画像処理して評価・検査用画像を出力する画像処理機構を更に備え、前記一次電子ビームの前記試料への入射エネルギーを可変とすることにより、前記電子衝撃型検出器のゲイン及び前記評価・検査用画像の露光量を調節することを特徴とする電子ビーム装置。

【請求項 3】 請求項 1 又は 2 に記載の電子ビーム装置であって、前記一次電子ビームの前記試料への入射エネルギーが 2 ～ 4 keV であり、もって、前記試料の表面を負に帯電させて前記試料の表面でのチャージアップによる画像歪みを低減することを特徴とする電子ビーム装置。

【請求項 4】 請求項 1 ～ 3 のいずれか一つに記載の電子ビーム装置であって、前記一次電子ビームの前記試料でのランディング・エネルギーを 0.2 ～ 4.0 keV とし、もって、前記反射電子と後方散乱電子を検出することで S/N 比を向上させることを特徴とする電子ビーム装置。

【請求項 5】 請求項 1 ～ 4 のいずれかに記載の電子ビーム装置であって、前記電子衝撃型検出器を冷却して電子衝撃による発熱を低減するための冷却手段を更に備えることを特徴とする電子ビーム装置。

【請求項 6】 請求項 1 ～ 5 のいずれか一つに記載の電子ビーム装置を用いて、プロセス途中のウエハの評価を行うことを特徴とする半導体デバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、試料表面の構造や電氣的導通等の検査・観察・評価（電子ビーム・テストイング）を行うための電子ビーム装置に関するものであり、例えば、最小線幅 $0.15\mu\text{m}$ 以下のパターン上の欠陥を高精度、高信頼性且つ高スループットで検査するための装置及び方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来から、基板の表面に電子ビームを照射して該表面を電子ビームでスキャンしたときに基板から放出される二次電子を検出し、その検出結果からウエハ画像データを生成し、ウエハ上のダイ毎の画像データとそれに隣接する画像データとを比較することにより、ウエハに存在する欠陥を検出する検査装置が知られている。また、基板に一次電子ビームを照射し、基板から放出された二次電子を二次レンズ系によって結像させてウエハ上の画像のデータを得る写像投影型の検査装置も公知である。

【0003】

写像投影型の検査装置は広い面積を同時に照射することができるので、こうした方式においては、SEM方式に比べ、スキャン回数を大幅に低減することができる。しかし、写像投影型の検査装置のような電子ビーム装置は、試料から放出される二次電子を写像投影方式で検出器に結像して観察画像を得ているが、二次電子の試料近傍での放出エネルギーは概ね数 eV という比較的小さい値であるため、結像時に、帯電による表面電位差、すなわち、配線などの導体とその間の絶縁物により発生する電位差の影響を受けてドリフトしてしまい、観察画像が歪むという問題があった。

【0004】

一方、電子ビームで照射された試料で反射された電子すなわち反射電子は入射エネルギーと同等の $2\sim 3\text{keV}$ のエネルギーを持ち、二次電子と比較して約 100 倍近くのエネルギーを有するため、この反射電子を写像投影方式で結像させた場

合には、表面電位差の影響を受けにくく、画像歪みの少ない観察画像を得ることができることになる。ところが、反射電子の放出比は、二次電子のそれに比べて遙かに小さいため、従来から使用してきた検出系、例えば、MCPと蛍光スクリーンとCCDとを組み合わせたものを用いて検出を行った場合には、S/N比が不足することのなり、電子ビームの電流量やMCPゲインを増加させなければならないので、電子源及びMCPが早期に劣化するという問題がある。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、特に、反射電子の検出器に高感度の電子衝撃 (EB; Electron-Bombardment) 型のCCD (以下、EB-CCDと呼ぶ) を用いるならば、電流量やMCPゲインを従来と同レベルとしたままS/N比を改善することができ、また、従来のMCPを使用する場合に発生した増倍揺らぎのない高感度画像を得ることが可能である。さらに、EB-CCDは、該CCDへの電子の入射エネルギーによって増倍ゲインが決定されるため、EB-CCDを使用すると、二次電子と反射電子とのエネルギー差を利用して、選択的に反射電子を取り出すことができる。

【0006】

本発明は、上記の知見に基づいて、従来の検出装置の課題を解決するために提案されたものであり、本発明の目的は、試料上のパターンの欠陥を高精度、高信頼性且つ高スループットで検査することができる電子ビーム装置及び該装置を用いた半導体デバイス製造方法を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するため、請求項1の発明は、

一次電子ビームを試料に照射し、該試料から放出される反射電子を検出器に結像して前記試料の表面を観察又は評価するための写像投影型の電子ビーム装置であって、

前記反射電子を検出するための前記検出器として電子衝撃型CCD及び電子衝撃型TDI等の電子衝撃型検出器を具備し、前記試料から放出された前記反射電

子と二次電子とのエネルギー差から、選択的に前記反射電子を検出することを特徴とする電子ビーム装置、
を提供する。

【0008】

請求項2の発明は、前記電子衝撃型検出器の出力を画像処理して評価・検査用画像を出力する画像処理機構を更に備え、前記一次電子ビームの前記試料への入射エネルギーを可変とすることにより、前記電子衝撃型検出器のゲイン及び前記評価・検査用画像の露光量を調節することを特徴とする。

【0009】

請求項3の発明は、前記一次電子ビームの前記試料への入射エネルギーを2～4 keVとし、もって、前記試料の表面を負に帯電させて前記試料の表面でのチャージアップによる画像歪みを低減することを特徴とする。

【0010】

請求項4の発明は、前記一次電子ビームの前記試料でのランディング・エネルギーを0.2～4.0 kVとし、もって、前記反射電子と後方散乱電子を検出することでS/N比を向上させることを特徴とする。

【0011】

請求項5の発明は、前記電子衝撃型検出器を冷却して電子衝撃による発熱を低減するための冷却手段を更に備えることを特徴とする。

請求項6の発明は、

請求項1～5のいずれか一つに記載の電子ビーム装置を用いて、プロセス途中のウエハの評価を行うことを特徴とする半導体デバイス製造方法
を提供する。

【0012】

本発明に係る電子ビーム装置の一つの実施の形態においては、従来の写像投影型の電子ビーム装置における検出器として、高感度のEB-CCD又は電子衝撃型の時間遅延積分(TDI; Time Delayed Integration)装置(以下、EB-TDIと呼ぶ)を用い、一次電子ビームを試料基板に照射したときに基板から放出される反射電子を写像投影光学条件において二次光学系の検出器、例えばEB-

CCDに結像させる。

【0013】

図1は、155 eVの入射エネルギーにおいて一次電子ビームをAu基板に照射したときに該基板から放出される電子のエネルギーと放出係数の特性を示すグラフである（出典：John T.L. Thong編、「K. Ura Electron Beam Interaction with Specimen」 Electron Beam Technology, p.180, Plenum Press, New York, 1993）。これによると、基板電位がアース電位であるとき、電子照射による二次電子のエネルギーはほぼ0～50 eVに分布しており、殆どの二次電子は数eVのエネルギーを有している。それに対し、反射電子のエネルギー分布のピークは、入射電子のエネルギーとほぼ同等の155 eV付近にある。したがって、試料から放出された二次電子は低速で試料付近に存在し、試料帯電時の表面電位の影響を受けるのに対して、反射電子は入射電子のエネルギーと同等のエネルギーを有するため、反射電子を用いることにより、基板電子の表面電位の影響を受けておらず且つ歪みのない試料画像を得ることができる。

【0014】

試料基板から放出される二次電子を結像させた場合には、エネルギーが0～50 eVの範囲に分布している全ての電子を用いることになるが、これに対して、試料基板から放出される反射電子を用いる場合には、前述のとおり、入射電子のエネルギー・ピークの電子のみを使用するためにS/N比が不足してしまうが、これを克服するよう、本発明では、高感度のEB-CCD又はEB-TDIを用いて反射電子の検出を行う。

【0015】

図2は、電子の入射エネルギーに対するEB-CCDの増倍ゲインの関係を示すグラフである。反射電子のEB-CCDへの入射エネルギーは4 keVであるため、図2のグラフによると、反射電子の増倍ゲインは約200となる。これに対して、二次電子は数keVのエネルギーを有するので、二次電子は増倍されず、したがって検出されない。このため、反射電子のみを選択的に検出することが可能になる。検出器としてEB-TDIを用い、試料基板を載置したステージを連続的に移動させることにより、試料の連続画像を形成することができ、これを使って

試料の観察及び評価を行うことができる。

【0016】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照しながら、本発明に係る写像投影型電子ビーム装置を説明する。図3は、本発明に係る写像投影型電子ビーム装置の一つの実施の形態の構成を概略的に示す図である。図3において、電子源1から放出された電子ビームは、ウェーネルト電極2、アノード（加速電極）3、静電レンズ4₁及びアパーチャ（又は正方形開口）5を通過し、さらに2つの静電レンズ4₂、4₃を通過してからE×Bフィルタ6に入る。ウェーネルト電極2、アノード3、静電レンズ4₁、アパーチャ5、静電レンズ4₂、4₃及びE×Bフィルタ6は一次電子光学系を構成する。

【0017】

E×Bフィルタ6で電子ビームは電界及び磁界の作用によって進行方向を偏向されて、X-Y-θステージ7に載置された例えば8～12インチの大きさの接地されたウエハ8を照射する。このときの電子ビームのエネルギーは2～4 keV、好ましくは約4 keVである。ウエハ8の表面には例えばLSI製造用の回路パターンが形成されている。

【0018】

電子ビームの照射によってウエハ8の表面からは、入射電子のエネルギーと同等のエネルギーを持つ反射電子が放出される。この反射電子は二次電子光学系の1段静電レンズ9、2段静電レンズ10及び3段静電レンズ11によって50～500倍に拡大されて高感度のEB-CCD12に結像される。このとき、ウエハ8が接地電位にあり、リターディング電圧がないため、ウエハ8から放出された二次電子は二次電子光学系には進入しない。また、図2により説明したように、EB-CCD12は増倍ゲイン特性を有するので、EB-CCD12により反射電子を選択的に検出することができる。

【0019】

図3に示す電子ビーム装置を、ウエハ上に形成されたパターンの欠陥検査を行う装置として使用する場合には、EB-CCD12から出力されるCCD画像が

画像処理機構 13 に供給されて処理され、処理された画像を用いてウエハ上のパターンの欠陥の有無や欠陥の分類・判別を行う。例えば、LSI 製造工程中のウエハであれば、セル中の構造の比較や、ダイとダイとの構造の比較によって欠陥部位を検出する。さらに、こうした欠陥検査を行った部位と、欠陥が検出された部位とを記憶しておき、検出された欠陥を分類・判別して製造工程管理にフィードバックするようにしてもよい。

【0020】

なお、図 2 に示すように、EB-CCD 12 のゲインは入射電子のエネルギーで決まるので、反射電子を検出する場合、一次電子のウエハ 8 への入射エネルギーを変化させることにより、CCD 画像の露光量を調整することができる。また、EB-CCD 12 にペルチェ素子などの冷却機構を設置することにより、EB-CCD 12 と入射する電子ビームとの衝突によって発生する熱を低減することができる。

【0021】

図 4 は、絶縁物 (SiO_2) に電子ビームを照射したときの、電子の入射エネルギーと二次電子放出効率 σ との関係を示すグラフである。このグラフにおいて、二次電子放出効率 σ が 1 より大きい範囲は、入射した電子よりも多くの二次電子が放出される範囲であり、この範囲では絶縁物の表面は正に帯電すなわちチャージアップされる。一方、二次電子放出効率 σ が 1 より小さい範囲では、入射電子よりも少ない数の二次電子が放出されるため、絶縁物の表面は負に帯電することになる。したがって、図 3 に示す電子ビーム装置の場合、図 4 のグラフから理解されるように、電子源 1 から放出された電子がウエハ 8 に入射するときに 1.5 ~ 2.0 keV のエネルギーを持っているならば、ウエハ 8 の表面は負に帯電するので、チャージアップ歪みの少ない観察・評価用画像を得ることができる。

【0022】

実際、図 3 に示す電子ビーム装置を具体化した装置で実験したところ、ウエハ 8 の電位、したがって一次電子ビームのリターディング・エネルギーを $-0.5 \text{ keV} \sim -3 \text{ keV}$ の領域内に、特に -2 keV に設定したときに、反射電子の検出効率が高くなり、S/N 比の高い観察・評価用画像を得ることができること

が判明した。

【0023】

図3に示す電子ビーム装置においては検出器として高感度のEB-CCD12を用いたが、これに代えて、高感度のEB-TDIを使用することができる。EB-TDIを使用する場合にはウエハ8は接地されず、例えば、電子源1は-4 kV、ウエハ8は-2 kVの電位に設定される。その結果、ウエハ8への入射電子のエネルギーは2 kVとなり、入射電子のエネルギーと同様の2 kVのエネルギーを持つ反射電子が生じる。この反射電子は図3について既に説明したと同様に50～500倍に拡大されてEB-TDIに結像される。一方、ウエハ8から放出された二次電子は数eVのエネルギーしか持たないので、E×Bフィルタ6、アパーチャ5、静電レンズ9に設定される条件でフィルタリングされ、EB-TDIの入射面には結像しない。この条件とは例えば以下の通りである：

E×Bフィルタ6のE：1937 V、

E×Bフィルタ6のB：111.8 mA、

アパーチャ5の径：65 μ m、

静電レンズ9：1436 V、

静電レンズ10：3022 V、

静電レンズ11：4099 V。

【0024】

EB-TDIを使用した電子ビーム装置においては、ウエハ8を載置したステージ7を連続的に移動させながらウエハ8を電子ビームで照射することにより連続的に撮像することが可能である。このときの具体的な作動条件の一例は以下のとおりである。

【0025】

ステージ7の移動速度 10～100 mm/秒、

EB-TDIの画素数 4096×512（つまり、512段の積算）、

ライン周波数 200～500 kHz、

最小分解能 30～100 nm。

【0026】

このような連続撮像可能な電子ビーム装置を用いるときには、ステップ・アンド・リピート方式で撮像を行うことができる。そのため、EB-CCDを用いるのに比べて、高速の撮像が可能になり、より高いスループットを実現することができる。例えば、1個のピクセルが $50 \times 50 \text{ nm}$ の大きさである8インチ・ウエハをステージ移動速度 15 nm/秒 、ライン周波数 300 kHz で連続撮像を行ったとき、検査時間は3時間となった。

【0027】

以下、本発明に係る電子ビーム装置を用いた半導体デバイス製造方法を説明する。図5は、こうした製造方法の一例を示すフロー図で、この例の製造工程は次の各主工程を含む。なお、各主工程は幾つかのサブ工程からなる。

【0028】

- (1) ウエハ52を製造する工程（又はウエハを準備する工程）51
- (2) 露光に使用するマスク（レチクル）62を製造するマスク製造工程（又は、マスクを準備するマスク準備工程）61
- (3) 必要な加工処理をウエハに対して行うウエハ・プロセッシング工程53、
- (4) ウエハに形成されたチップを1個ずつ切り出して動作可能にするチップ組み立て工程54、
- (5) チップ組み立て工程54で作られたチップ55を検査するチップ検査工程56。

【0029】

これらの主工程の中で、半導体デバイスの性能に決定的な影響を及ぼす主工程が、ウエハ・プロセッシング工程53である。この工程は、設計された回路パターンをウエハ上に順次積層し、メモリやMPUとして動作するチップを多数形成する。ウエハ・プロセッシング工程53は次の工程を含む。

【0030】

- (イ) 絶縁層となる誘電体薄膜や、配線部又は電極部を形成する金属薄膜を形成する薄膜形成工程（CVDやスパッタリング等を用いる）
- (ロ) 薄膜層やウエハ基板を酸化する酸化工程、

(ハ) 薄膜層やウエハ基板等を選択的に加工するためのマスク（レチクル）62を用いてレジストのパターンを形成するリソグラフィ工程63、

(ニ) イオン・不純物注入・拡散工程、

(ホ) レジスト剥離工程、

(ヘ) さらに加工されたウエハを検査する検査工程。

なお、ウエハ・プロセッシング工程53は必要な層数だけ繰り返し実施され、設計どおり動作する半導体デバイスが製造される。

【0031】

図5のウエハ・プロセッシング工程53の中核をなすのはリソグラフィ工程63であり、図6はリソグラフィ工程63で実施される工程を示している。すなわち、リソグラフィ工程63は、

(a) 前段の工程で回路パターンが形成されたウエハ上にレジストをコーティングするレジスト塗布工程71、

(b) レジストを露光する露光工程72、

(c) 露光されたレジストを現像してレジストのパターンを得る現像工程73、

(d) 現像されたレジスト・パターンを安定化させるためのアニール工程74、

を含む。

【0032】

以上説明した半導体デバイス製造工程、ウエハ・プロセッシング工程53、リソグラフィ工程63は周知のものであり、それらの工程についての説明は省略する。

【0033】

本発明に係る電子ビーム装置を上記(5)のチップ検査工程56に対して用いて欠陥検査を行うと、微細なパターンを有する半導体デバイスでも、スループット良く検査を行うことができ、全数検査が可能となるばかりでなく、製品の歩留まりを向上させ、欠陥製品の出荷を防止することが可能になる。

【0034】

【発明の効果】

以上、説明したところから理解されるように、本発明は、試料表面の電位の均一化を行い、試料表面から放出される反射電子を検出することにより、収差と歪みの小さい放出電子像を得ることが可能となるので、欠陥の検出及び画像処理における信頼性が向上するという格別の効果を奏する。

【図面の簡単な説明】**【図 1】**

放出される二次電子のエネルギー分布を示す図である。

【図 2】

電子の入射エネルギーと EB-CCD の増倍ゲインとの関係を示す図である。

【図 3】

本発明に係る写像投影型電子ビーム装置の一つの実施の形態を概略的に示す図である。

【図 4】

照射電子のエネルギーと絶縁物の二次電子放出効率との関係を示す図である。

【図 5】

本発明に係る写像投影型電子ビーム装置を適用し得る半導体デバイス製造方法の一例のフローチャート図である。

【図 6】

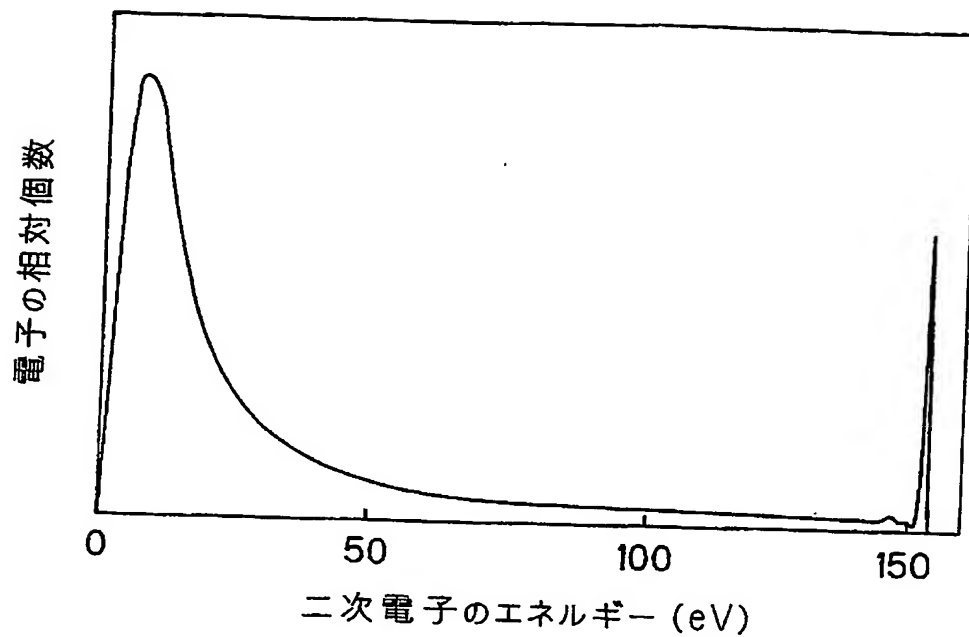
図 5 のウエハ・プロセッシング工程の中核をなすリソグラフィー工程を示すフローチャート図である。

【符号の説明】

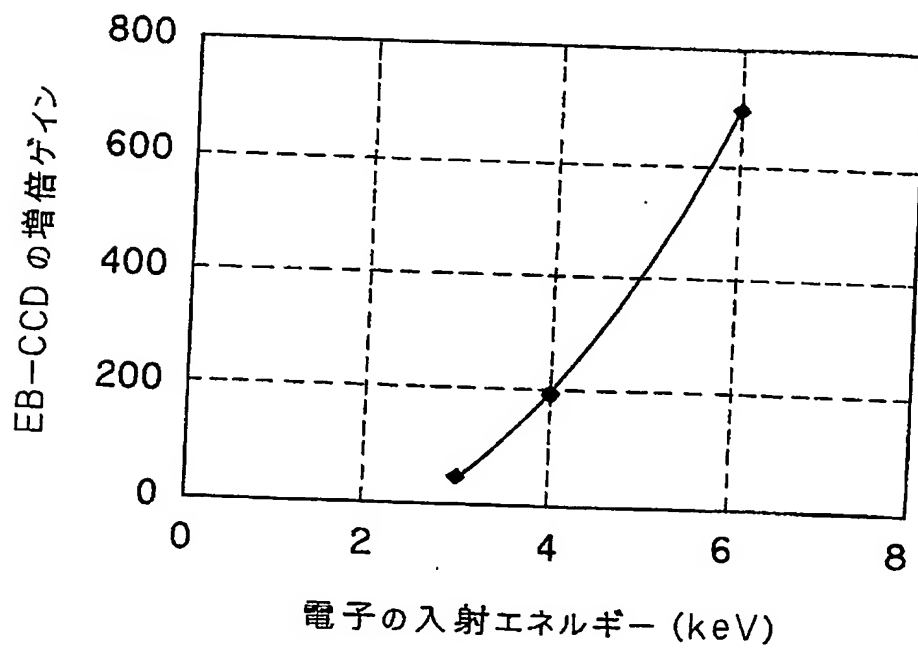
1：電子源、 2：ウェーネルト電極、 3：アノード、 4₁～4₃：静電レンズ、 5：アパーチャ、 6：E×Bフィルタ、 7：ステージ、 8：ウエハ、 9～11：静電レンズ、 12：EB-CCD又はEB-TDI、 13：画像処理機構、

【書類名】 図面

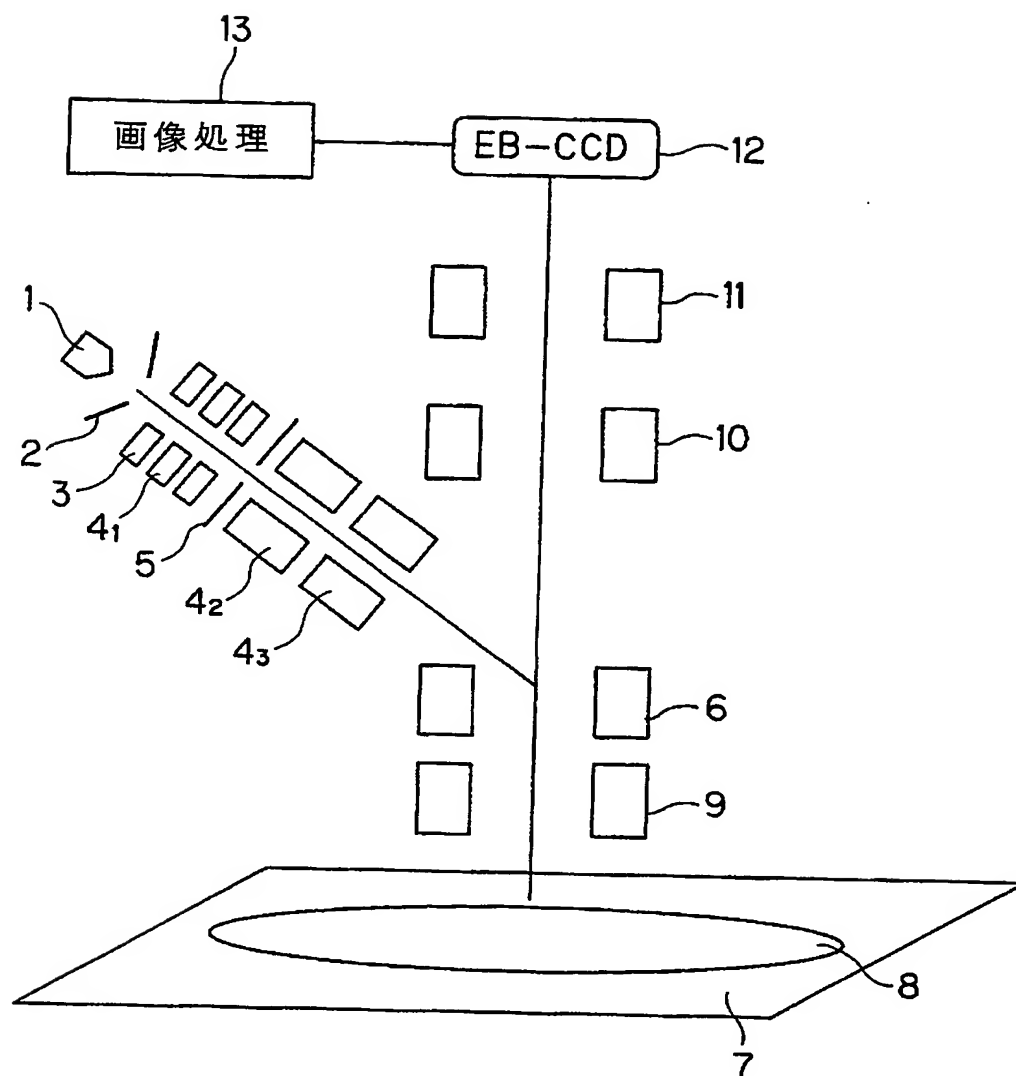
【図 1】



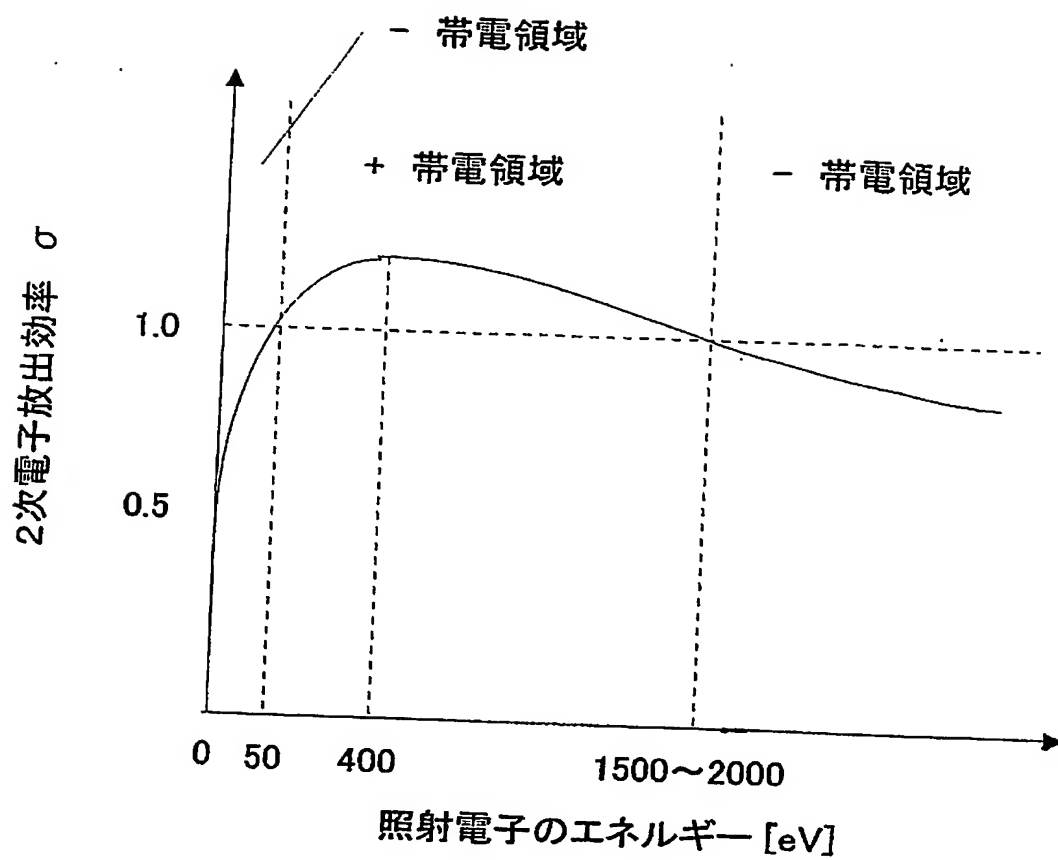
【図 2】



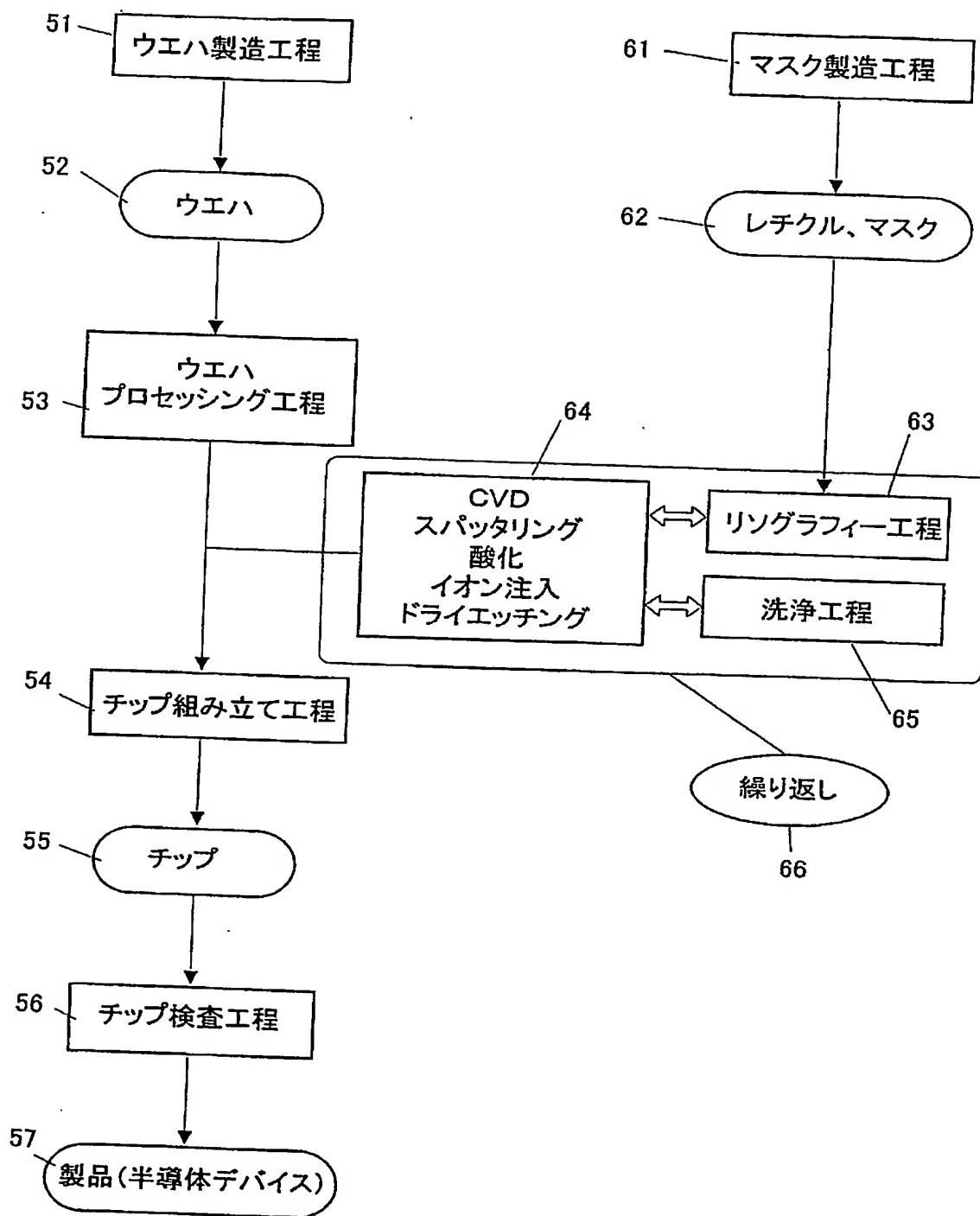
【図 3】



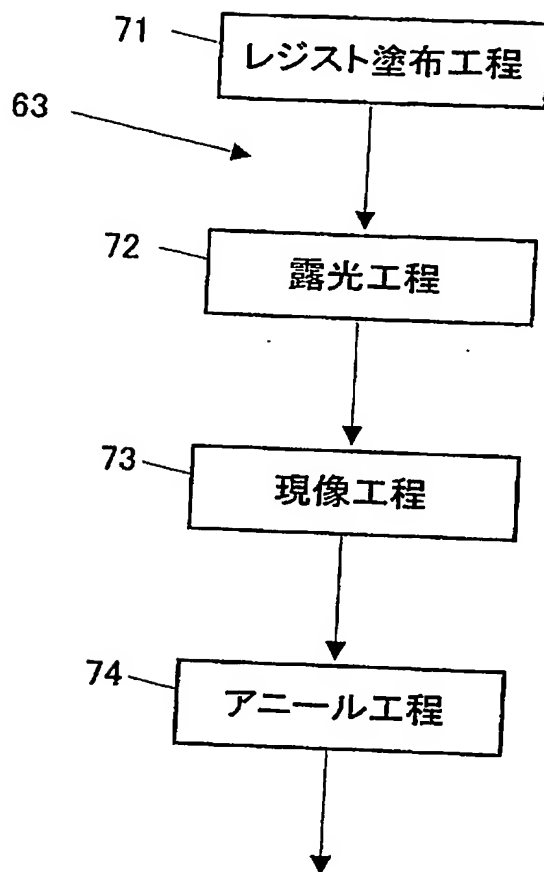
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 試料上のパターンの欠陥を高精度、高信頼性且つ高スループットで検査することができる電子ビーム装置及び該装置を用いた半導体デバイス製造方法を提供すること。

【解決手段】 電子ビーム装置は、一次電子ビームを試料 8 に照射して、試料 8 から放出される反射電子を検出器 12 に結像して試料 8 の表面を観察又は評価するための写像投影型の電子ビーム装置である。反射電子を検出するための検出器 12 として、電子衝撃型 CCD 及び電子衝撃型 TDI 等の電子衝撃型検出器を使用し、試料 8 から放出された反射電子と二次電子とのエネルギー差から、選択的に反射電子が検出される。

【選択図】 図 3

特願 2003-016987

ページ: 1

出願人履歴情報

識別番号

[000000239]

1. 変更年月日
[変更理由]
住所
氏名

1990年 8月31日
新規登録
東京都大田区羽田旭町11番1号
株式会社荏原製作所

出証番号 出証特 2004-3013683

特願 2003-016987

ページ： 2/E

出願人履歴情報

識別番号

[000003078]

1. 変更年月日

[変更理由]

住所

氏名

2001年 7月 2日

住所変更

東京都港区芝浦一丁目1番1号

株式会社東芝